第 43 卷 第 3 期
2000 年 8 月
昆 虫 学 报
ACTA ENTOMOLOGICA SINICA
Vol.43, No.3
Aug., 2000

文章编号：0454-6296（2000）03-0291-06

马尾松受害诱导的化学物质滞后变化

王 燕[1]，李镇宇[1]，戈 峰[2]*
（1. 北京林业大学，北京 100083；2. 中国科学院动物研究所，北京 100080）

摘要：通过接种马尾松毛虫 *Dendrolimus punctatus* 和人工剪叶，分析比较了不同受害方式对马尾松针叶内化学物质的影响。结果表明，害虫取食松针诱导的次生代谢物质（单宁、酚类物质）比人工剪叶处理略有增加，而营养物质——可溶性糖变化不大。对马尾松进行害虫取食为害、人工剪叶受害、未受害三种处理后，连续 3 年跟踪测定了松针叶内化学物质含量的变化。结果发现，无论是害虫取食为害，还是人工剪叶受害，针叶内次生代谢物质含量都减少，可溶性糖含量降低，直至一年后才恢复到原有的水平；蛋白质变化的趋势则始终是受害处理的含量比未受害处理的含量高，表明马尾松受害后诱导的化学物质变化具有滞后特性。

关键词：马尾松；马尾松毛虫；受害方式；诱导的化学物质；滞后变化
中图分类号：S791.245 **文献标识码**：A

植物的诱导抗虫性是指植物在受到昆虫为害后，所作出的组织和化学反应，包括植物组织的坏死反应、植物本身营养成分质和量方面的变化、分泌毒它性化合物、产生引诱害虫天敌的化学物质等[1,2]。根据作用世代的长短不同，诱导抗性又可分为快速诱导抗性（Rapidly induced-resistance）和滞后诱导抗性（Delayed induced-resistance）。前者是指对当代植食性昆虫的影响，一般可使昆虫繁殖力下降 5%～10%[1]；后者是对后继的一至几代植食性昆虫的影响，可使昆虫繁殖力累积下降 70%以上[1~3]。目前，快速诱导抗性的研究较多，而滞后诱导抗性的研究较少。

由于一年生草本植物生长周期短，木本植物寿命长，因此滞后诱导抗性主要发生在木本植物中，研究其体内的诱导抗性更有价值。马尾松 *Pinus massoniana* 是我国南方的主要树种，马尾松毛虫 *Dendrolimus punctatus* 则是其主要害虫。业已发现，马尾松受害后诱导产生次生代谢物质以防御害虫[4]。至于其诱导抗性持续时间多长和如何变化，国内外尚未见报道。我们连续 3 年对马尾松受害后诱导的化学物质变化进行了跟踪测定，探讨了不同受害方式对这些物质变化的影响，旨在从营养生态学角度分析马尾松毛虫周期性发生的一些机理，为有效地开展森林害虫的生态调控提供理论依据。

基金项目：中国科学院“九五”重点支持项目
* 通讯作者
收稿日期：1999-10-12；修订日期：2000-05-24

1 材料与方法

1.1 实验材料的采集

1.1.1 不同受害方式诱导的针叶化学物质的短期变化：1998 年在江西省鹰潭市郊外选定一片马尾松人工林，在林中选择树龄相同、长势均匀的 10 株树做标记。其中 5 株分别接入一定数量的 4～5 龄马尾松毛虫幼虫，在 3 天内造成松树中等受害（针叶损失 50% 以上）。接虫时每个枝条都放，使其尽可能均匀分布。另选 5 株松树作对照，根据接虫松树受害程度逐日人工剪叶，模拟受害，每日剪叶程度与接虫为害松树被取食程度相同。待去除马尾松毛虫后，抽取个别枝条，调查马尾松毛虫实际为害程度，再对对照植株作相应剪叶处理。在处理后的第 1、3、5、10 天分别从上述松树取样。取样后将针叶混合，杀青晒干保存，以备室内测定。

1.1.2 马尾松受害诱导的针叶化学物质的长期变化：1996 年 4～5 月马尾松毛虫越冬幼虫为害期间，在江西省鹰潭市郊选择一块马尾松毛虫自然为害严重（松针损失 75% 以上）的松林作为自然受害区，面积约为 20 km^2，对其中松针损失 75% 的松树做标记以备取样；与之相隔铁路的另一片未被马尾松为害（针叶损失小于 5%）的松树林（面积 15 km^2），作为未受害处理区，并另外标记一小块松树林，人工剪去树上 75% 的松针，作为人工剪叶处理区。自受害当年起连续 3 年（1996～1998 年），每年于 4、8、11 月在不同处理区进行取样。取样处理同上。

1.2 马尾松针叶内化学物质含量的测定

单宁测定采用磷钼酸-钨酸钠法[5]；酚类化合物测定采用苯胺法[6]；可溶性糖测定采用蒽酮法[7]；蛋白质测定采用微量凯氏定氮法[7]。

2 结果与分析

2.1 不同受害方式诱导的针叶内化学物质的短期变化

2.1.1 单宁含量变化：对人工剪叶与接虫为害处理的马尾松针叶内单宁含量的测定结果（图 1）表明，马尾松在两种不同作用方式受害后的第 1、3、5、10 天，新叶和老叶内单宁含量都随时间变化而波动，虫害组针叶内单宁含量均比剪叶处理针叶内的单宁含量高。经 t 检验表

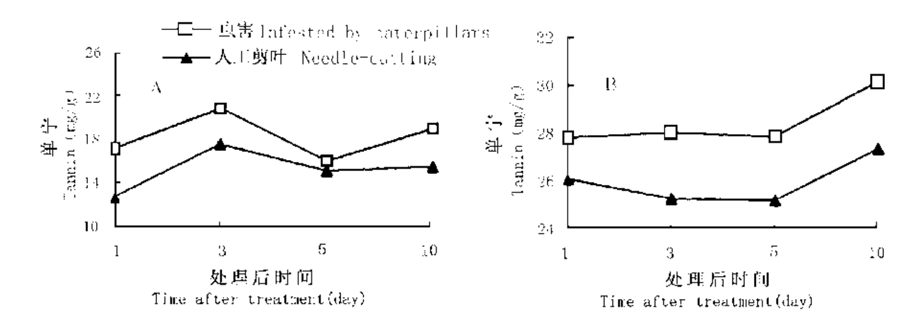


图 1 虫害与人工剪叶后的松针新叶（A）和老叶（B）内单宁含量的变化

Fig. 1 Changes of tannin content in new (A) and old (B) needles of insect-infested and needle-cutting pines

明，两处理间差异显著（$P<0.05$）。

2.1.2　酚类物质含量变化：从不同处理方式受害的马尾松新、老针叶内酚类物质测定结果（图 2）来看，马尾松受害后的第 1、3、5、10 天，新、老叶内酚类物质随时间推移而呈现出先上升后下降的变化，虫害组针叶内酚类物质含量比剪叶处理组略高。但 t 检验表明，两处理间差异均不显著（$P>0.1$）。说明这两种受害方式对针叶内酚类物质变化没有明显影响。

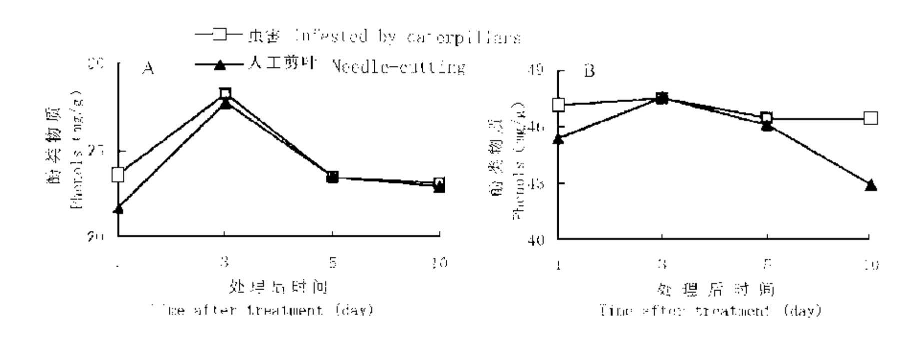


图 2　虫害与人工剪叶后的松针新叶（A）和老叶（B）内酚类物质含量的变化

Fig. 2　Changes of phenols content in new（A）and old（B）needles of insect-infested and needle-cutting pines

2.1.3　可溶性糖含量的变化：马尾松受害后第 1、3、5、10 天，松针内可溶性糖含量也随时间变化而上下波动，与单宁、酚类物质变化不同，马尾松经剪叶处理的针叶内可溶性糖含量比虫害处理的略高（图 3）。t 检验表明，两处理间差异不显著（$P>0.1$）。

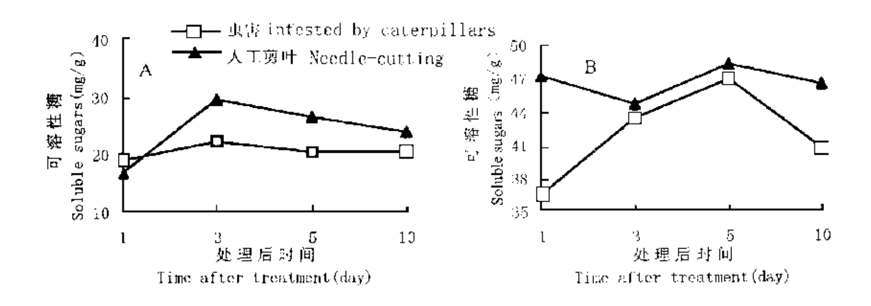


图 3　虫害与人工剪叶后的松针新叶（A）和老叶（B）内可溶性糖含量随时间变化

Fig. 3　Change of soluble sugar contents in new（A）and old（B）needles of insect-infested and needle-cutting pines with time

2.2　不同受害方式诱导的针叶内化学物质的长期变化

为了进一步考查不同受害方式对针叶内化学物质含量的长期影响，连续 3 年跟踪测定了松毛虫为害、人工剪叶受害和未受害 3 种处理松针内化学物质含量的变化，结果见图 4。

2.2.1　酚类物质含量的长期变化：1996 年在对马尾松进行 3 种处理的 5 天后，虫害和剪叶处理的针叶内酚类物质含量均比未受害处理的增加，但自此之后它们的含量一直较低，直至第二年（1997 年）5 月仍比未受害的含量低。接着，虫害和剪叶处理的针叶内酚类物质逐渐

升高，超过未受害处理的含量（图4：A）。方差分析表明，虫害、剪叶受害和未受害3种处理间酚类物质含量差异均显著，说明马尾松受害后存在着滞后的酚类物质含量变化。这种变化大体上分为二个阶段，前一年为下降阶段，后一年为上升阶段。

2.2.2 单宁含量的长期变化：1996年6月对马尾松进行3种处理测定时，马尾松针叶内单宁含量顺序依次为：未受害处理＞剪叶处理＞虫害处理，8月和11月份仍保持原有的顺序；直到第二年（1997年）5月底单宁含量依次为：未受害处理＞虫害处理＞剪叶处理，3种处理之间相差较小，到11月底时3种处理的针叶内单宁含量趋于一致。1998年3种处理的马尾松针叶内单宁含量顺序则依次变为：虫害处理＞未受害处理＞人工剪叶处理（图4：B）。方差分析表明，虫害、剪叶受害、未受害3种处理间单宁含量在1996年6月至1998年4月间差异均显著（$P<0.05$）。表明马尾松受害后诱导的单宁含量在3个处理间上下变化交替发生，呈现出先下降后升高的趋势。

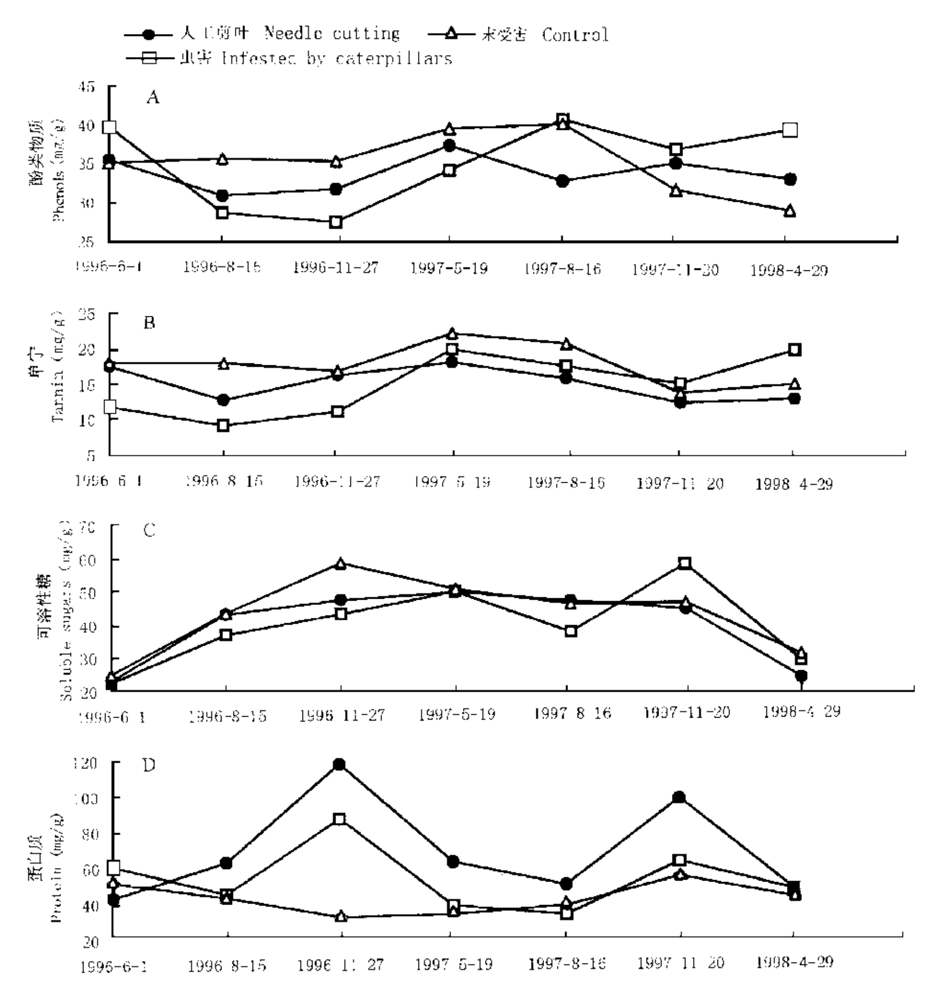


图4 不同处理的松针内酚类物质、单宁、可溶性糖、蛋白质含量的长期变化

Fig. 4 Long-term changes of phenols, tannin, soluble sugar and protein contents in needles of pine treated by different managements along with time

2.2.3　可溶性糖含量的长期变化：从可溶性糖的测定结果（图 4：C）来看，1996 年 6～11 月虫害与剪叶受害处理的叶内可溶性糖含量较未受害处理的针叶内含量低；至 1997 年 5 月，3 种处理的马尾松针叶内可溶性糖含量趋于一致，8 月份略有差异，11 月底虫害组针叶比剪叶处理和未受害的松叶内可溶性糖含量要高。但至 1998 年 4 月，虫害与剪叶处理的针叶内可溶性糖含量却较未受害处理的略低，经方差分析，1997 年 5 月、1998 年 4 月时 3 种处理的马尾松针叶内可溶性糖含量差异不显著（$P>0.2$），其余各时间内 3 种处理的可溶性糖含量差异均显著（$P<0.05$）。

2.2.4　蛋白质含量的长期变化：如图 4（D）所示，在各时间序列上，虫害与剪叶处理的松针内蛋白质含量都比未受害处理的低。方差分析表明，除 1996 年 8 月外，其它各时间各处理的马尾松针叶内蛋白质含量差异均显著（$P<0.05$），即马尾松受害后针叶内蛋白质含量下降。

3　小结与讨论

试验表明，对马尾松进行接虫取食为害、剪叶受害、未受害 3 种处理后，其针叶内次生代谢物质（单宁、酚类物质）含量呈阶段性变化，在受害处理后一直下降，第二年又上升，表现出一定的规律性；而其针叶内蛋白质含量的变化始终是受害（虫害与剪叶）处理组较对照组低。说明马尾松受害后诱导的化学物质变化存在着滞后效应，可能对马尾松毛虫种群产生一定的调控作用。此外，马尾松所释放出的挥发性次生代谢物质（萜烯）含量也与其抗产卵性和抗取食性密切相关[8]。受害后的马尾松针叶内某些挥发性次生代谢物质含量可能减低，加上受害后叶量变少，总体挥发性物质含量减少，不能吸引更多的马尾松毛虫雌蛾来产卵，也将影响着马尾松毛虫下一代的种群数量。这进一步从营养生态学的角度，对马尾松毛虫周期性爆发机理提供了一些可能的解释。

从马尾松受虫害与受剪叶伤害所引起的化学物质变化来看，松毛虫为害后所诱导产生的次生代谢物质单宁含量高于人工剪叶处理，而酚类物质与可溶性糖含量差异不显著。戈峰等发现人工剪叶模拟为害与害虫为害类似，同样对松毛虫种群具有调控作用[10]。因此，可用人工剪叶模拟为害方法，适当剪去松针，达到调控马尾松毛虫种群，减轻松毛虫危害，延缓其爆发的目的。

参　考　文　献　（References）

[1]　康　乐．植物对昆虫的化学防御．植物学通报，1995，12（4）：22～27

[2]　娄永根，程家安．植物的诱导抗虫性．昆虫学报，1997，40（3）：320～327

[3]　Haukioja E. Induction of defenses in trees. Ann. Rev. Entomol., 1990，36：25～42

[4]　戈　峰，李典谟，邱业先等．松树受害后一些化学物质含量的变化及其对马尾松毛虫种群参数的影响．昆虫学报，1997，40（4）：337～342

[5]　朱广廉．植物生理学实验．北京：北京大学出版社，1990．76～124

[6]　王朝生．几组棉花抗虫品系单宁含量分析．中国棉花，1987，2：22～24

[7]　南京农业大学主编．土壤农化分析．北京：中国农业出版社，1986．232～234，246～256

［8］ 赵成华，伍德明，阎云花．马尾松针叶中挥发性成分的鉴定及其对马尾松毛虫的触角电位反应．林业科学，1995，31（20）：125～131

［9］ 马尾松毛虫抗性研究组．马尾松抗性植株的抗性机制研究．林业科学，1990，26（2）：133～141

［10］ 戈 峰，李典谟，吴淑秀等．受害松树对马尾松毛虫种群的调控作用．昆虫学研究进展，1997，186～189

Lag-change of chemical components in needles of injured pine, *Pinus massoniana*

WANG Yan[1], LI Zhen-yu[1], GE Feng[2]

(1. Beijing Forestry University, Beijing 100083, China;

2. Institute of Zoology, the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China)

Abstract: Effects of infestation of the pine caterpillar, *Dendrolimus puncatus* and needle-cutting on the chemical components in the needles of *Pinus massoniana* were investigated for 10 days after treatment. Higher tannin content and lower contents of phenols and soluble sugars were found in the needles of the pine infested by the caterpillar than injured by needle-cutting, but the differences did not reach the significant level, indicating no obvious differences of these components during that term in response to the two injurious manners.

The changes of nutritional material (soluble sugars) and secondary metabolites (tannin and phenols) in the needles of *P. massoniana* injured by infestation of the pine caterpillar or needle-cutting and in the needles of control pine were monitored for three successive years. It showed that contents of the secondary metabolites in the needles of the pine damaged by the two manners fluctuated along with time. They decreased in the first year after treatment and then went up to the normal level. Protein content in the needles of treatment pines was always higher than that in the control. Therefore, the induced chemical changes in the needles usually lag behind.

Key words: *Pinus massoniana*; *Dendrolimus puncatus*; injurious manner; induced chemical change; lagging occurrence